



Enseñanza de Sistemas Dinámicos y Control sin Dinámica

Dr. Ryan W. Krauss, Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos

El Dr. Krauss recibió su doctorado en ingeniería mecánica de Georgia Tech en 2006. Sus intereses de investigación incluyen el diseño de modelado y control para robots flexibles, control de retroalimentación y tecnología basada en microcontroladores. Implementación de sistemas de control de retroalimentación. Además del curso de introducción al diseño de ingeniería para estudiantes de primer año, ha impartido cursos de mecatrónica, controles, vibraciones, dinámica y robótica, así como diseño senior.

Dr. Arjumand Ali, Universidad Estatal de Grand Valley

Amy L. Lenz, Universidad Estatal de Grand Valley

Amy Lenz es profesora de ingeniería mecánica en Grand Valley State University y enseña sistemas y controles dinámicos.

Enseñanza de Sistemas Dinámicos y Control sin Dinámica

Abstracto

Este trabajo en progreso explora si es posible o no enseñar sistemas dinámicos y control de manera efectiva a estudiantes que no toman dinámica. Grand Valley State University ofrece dos versiones diferentes de un curso de control y sistemas dinámicos de nivel junior. Una versión es para estudiantes de ingeniería mecánica y requiere dinámica como requisito previo; la otra versión es para carreras de Diseño de Producto e Ingeniería de Manufactura (PDM) y no tiene dinámica como requisito previo. Los resultados del aprendizaje se comparan para los estudiantes de estos dos cursos diferentes a través de preguntas comunes del examen final y una actividad de laboratorio común. Este artículo presenta una evaluación de referencia sobre si los estudiantes que no toman dinámica pueden o no desarrollar una comprensión sólida de la dinámica de los sistemas de segundo orden poco amortiguados junto con una investigación preliminar sobre la efectividad de varias estrategias para enseñar sistemas dinámicos. Este artículo también presenta los resultados de una encuesta en línea sobre cómo el curso afectó las actitudes de los estudiantes hacia la programación de computadoras y su evaluación de sus habilidades de programación.

Introducción y Antecedentes

Este documento de trabajo en progreso proporciona un punto de referencia y una evaluación de las estrategias iniciales para enseñar sistemas dinámicos y control a estudiantes que no toman dinámica. El punto de referencia se realiza comparando los resultados de aprendizaje de los estudiantes entre dos versiones diferentes de un curso de control y sistemas dinámicos de nivel junior: uno que tiene la dinámica como requisito previo y otro que no.

El programa de Diseño de Productos e Ingeniería de Fabricación (PDM) de Grand Valley State University es un híbrido entre ingeniería mecánica y de fabricación con énfasis en el diseño y el desarrollo de nuevos productos. Debido a los desafíos de encajar todo el contenido deseado, los estudiantes del programa PDM no realizan dinámicas. Los requisitos previos para la versión PDM del curso de control y sistemas dinámicos son física y ecuaciones diferenciales.

La dinámica de sistemas aún puede ser un desafío incluso para los estudiantes a los que les fue bien en dinámica y no todos los conceptos enseñados en dinámica son esenciales para la dinámica de sistemas^{1,2}. Sin embargo, ciertos temas,

como encontrar la función de transferencia para sistemas de masa/resorte/amortiguador será más fácil para los estudiantes que han estudiado dinámica.

Se utilizó un conglomerado de estrategias de enseñanza para aumentar la comprensión de los estudiantes sobre los sistemas dinámicos, con especial énfasis en los sistemas de segundo orden poco amortiguados. Las estrategias empleadas incluyeron instrucción complementaria y semi-invertida, módulos de aprendizaje en línea, demostraciones experimentales en clase y experimentos físicos prácticos.

Preguntas de investigación pedagógica

La pregunta principal que este artículo busca investigar es si los sistemas dinámicos se pueden enseñar de manera efectiva a estudiantes que no toman dinámica. Una pregunta secundaria es si existe o no una diferencia en las actitudes o la autoeficacia de los estudiantes en relación con las tareas de programación asociadas con sistemas dinámicos y control si usan Python y la interfaz del cuaderno Jupyter en comparación con Matlab•R.

Revisión de literatura

Los cursos de control y sistemas dinámicos pueden ser abstractos, matemáticamente intensivos y difíciles de enseñar. Los educadores e investigadores han adoptado muchos enfoques para resolver este problema. Se ha demostrado que los experimentos físicos tienen un valor pedagógico significativo^{3,4,5,6,7}. Los costos de los equipos, los requisitos de espacio y otros desafíos de los laboratorios de control propiedad de las universidades han despertado un interés considerable en los experimentos de control propiedad de los estudiantes^{8,9,10}. El enfoque en experimentos de control propiedad de estudiantes ha dado lugar a muchas plataformas novedosas, como un pequeño vehículo robótico con una placa de microcontrolador personalizada¹¹ y un experimento impreso en 3D para equilibrar una pelota sobre un plato¹². Otros instructores han utilizado extensas simulaciones¹³ y hápticas¹⁴ para enriquecer los sistemas dinámicos y los cursos de control.

La abundancia de videos en línea sobre temas relacionados con el control junto con la relativa facilidad con la que los instructores pueden crear y distribuir sus propios videos de conferencias ha puesto en duda cómo aprovechar mejor el tiempo de instrucción cara a cara. Una respuesta a esta pregunta es "invertir" el curso haciendo que los estudiantes vean la conferencia con anticipación y luego utilicen el tiempo de clase para ejemplos extensos o actividades de aprendizaje activo. La instrucción invertida puede ser particularmente útil en cursos relacionados con el control al garantizar que los estudiantes sigan recibiendo una instrucción adecuada en la teoría del control y al mismo tiempo dedicar tiempo a proyectos experimentales desafiantes. Como informaron de la Croix y Egerstedt, los estudiantes a quienes se les asignan proyectos desafiantes pero no reciben suficiente instrucción en teoría de control a menudo crean algoritmos de control complejos que no son sólidos¹⁵. Por el contrario, los estudiantes que reciben teoría de control pero no reciben proyectos experimentales a menudo tienen dificultades para implementar la teoría que han aprendido.

La instrucción invertida puede ser particularmente poderosa cuando se complementa con experimentos de bajo costo y fáciles de implementar. Un desafío clave en el desarrollo de experimentos apropiados es mantener el costo bajo y al mismo tiempo evitar que los estudiantes se pierdan en los detalles de la implementación. Hill diseñó y

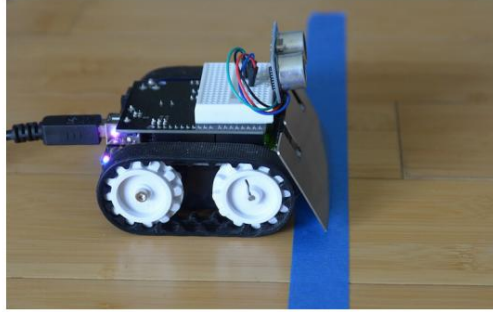


Figura 1: Imagen del chasis del robot Zumo y el sensor de sonda junto con una línea de parada con cinta adhesiva

presentó una serie de experimentos de este tipo que combinaban una placa de microcontrolador Arduino con Matlab y los utilizó en un curso de control y sistemas dinámicos invertidos¹⁶

Innovaciones pedagógicas

En cierto nivel, este documento sirve como punto de referencia para ver qué tan bien los estudiantes de PDM que no toman dinámica entienden la dinámica y el control del sistema en comparación con los estudiantes de ME que sí toman dinámica como requisito previo. Además, este artículo investiga la efectividad de algunas innovaciones pedagógicas iniciales para la dinámica y el control del sistema de enseñanza. Las innovaciones pedagógicas se describen a continuación.

Demostración introductoria

Se diseñó una conferencia/demostración el primer día para la versión PDM del curso para motivar a los estudiantes y sentar las bases de su aprendizaje. Debido a que los estudiantes de PDM no estudian dinámica, parecía especialmente importante ayudarlos a comprender lo que significan los términos "sistemas dinámicos" y "control".

La demostración utiliza un chasis de robot Zumo basado en Arduino y un sensor de sonda. Todo el sistema cuesta aproximadamente 125 dólares. El objetivo es lograr que el robot se detenga a una distancia prescrita de una pared, como se muestra en la Figura 1. Para iniciar una prueba, se retira el robot de la línea y se da una orden utilizando el monitor serie Arduino. Inicialmente se utiliza un control simple de encendido/apagado que apaga los motores cuando el robot llega a la línea. No es sorprendente que el robot pase la línea de parada, lo que lleva a una discusión sobre la inercia y cómo tenerla en cuenta al modelar el sistema. Luego se pregunta a los estudiantes cómo mejorar el sistema y la discusión se orienta hacia el uso del sonar para determinar la velocidad del motor. En algún momento se intenta el control proporcional. Los resultados de las pruebas de control proporcional se muestran en la Figura 2. La demostración es fácil de realizar en clase, solo requiere el software gratuito Arduino e ilustra los componentes esenciales de un sistema de control de retroalimentación.

La evaluación de la eficacia de la demostración se presentará más adelante en este artículo.

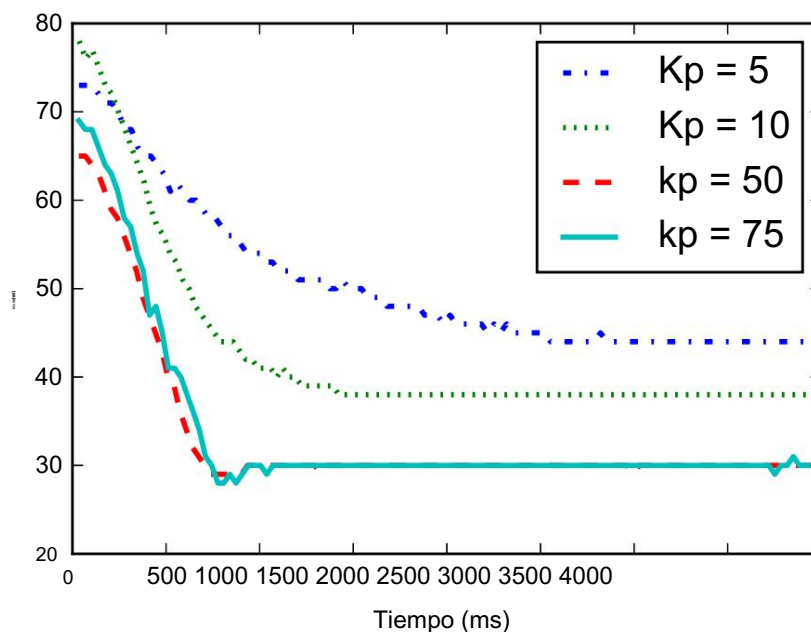


Figura 2: Resultados de la prueba de control proporcional para el carro robot sonar con varios valores de K_p y un punto de parada deseado de 30 cm de la pared

Videos de instrucción y revisión semi-invertidos

Se utilizaron videos de conferencias en línea en la sección PDM del curso. Debido al momento en que los videos fueron desarrollados y publicados en línea, no dieron lugar a conferencias realmente invertidas. Los videos proporcionaron más contenido de reseñas que cualquier otra cosa. Sin embargo, se cree que cada estudiante vio los videos de revisión al menos una vez antes de la mitad del período, ya que la cantidad de vistas de cada video superó la cantidad de estudiantes en la clase poco después de que se subieron los videos.

Sin ninguna indicación del instructor, dos estudiantes diferentes comentaron en sus evaluaciones del curso que la clase debería impartirse en formato invertido. En respuesta a esto, se creó una encuesta en línea y el 64% de los encuestados dijo que la mayoría de las conferencias deberían invertirse y el 9% dijo que todas las conferencias deberían invertirse. Las conferencias invertidas se incorporarán en mayor medida en la próxima oferta del curso.

Actividades de laboratorio

Ambas versiones del curso incluyen un laboratorio, sin embargo, el contenido del laboratorio no es idéntico entre las versiones. Muchos de los laboratorios de la versión PDM del curso utilizaron un sistema de codificador/motor de CC, como se muestra en la Figura 3. El motor es impulsado por un chip de puente H conectado a un paquete de baterías o a una fuente de alimentación. Se utiliza un Arduino Uno para leer las señales del codificador, realizar cálculos de control, garantizar la ejecución en tiempo real del controlador y enviar una señal PWM al puente H. Arduino imprime datos ASCII delimitados en el monitor en serie que luego se pueden copiar y pegar en un editor de texto o en un programa de hoja de cálculo para trazar y analizar datos, como compararlos con simulaciones. El software Arduino es todo lo que se necesita para ejecutarse en tiempo real.

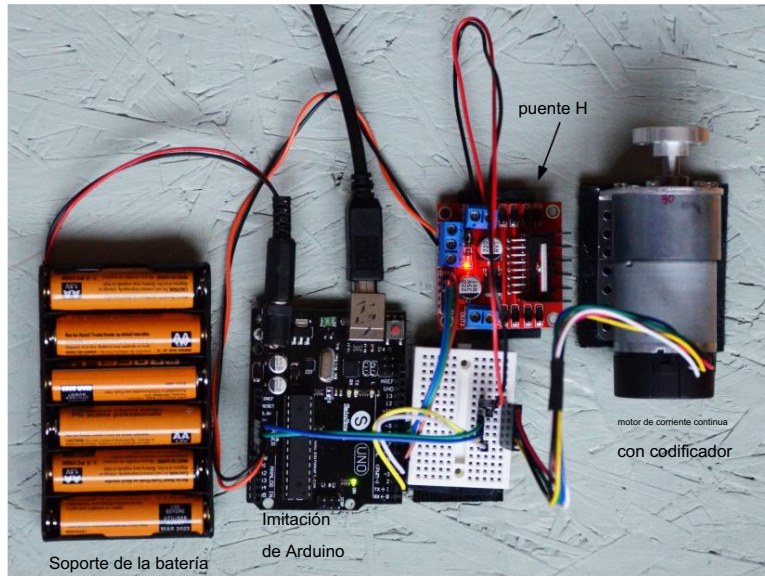


Figura 3: El sistema de motor CC/codificador/puente H utilizado en muchas prácticas de laboratorio en la versión PDM del curso y en la actividad de laboratorio del lugar común de raíces.

experimentos y recopilar datos.

El sistema de motor CC se puede utilizar para al menos 6 experimentos de aprendizaje activo:

1. Uso de interrupciones para decodificar las señales del codificador.
2. Identificar y compensar la banda muerta
3. Identificación del sistema en el dominio del tiempo
4. Sintonización PID
5. Diseño de control del lugar de las raíces
6. Respuesta de frecuencia

El sistema de motor de CC puede parecer sencillo para los instructores con considerable experiencia experimental, pero los estudiantes o profesores con poca experiencia pueden montarlo y se puede aprender mucho de él. El sistema experimental se puede construir por aproximadamente 75 dólares por estación de laboratorio. El costo y el origen de los componentes se enumeran en la Tabla 1.

Además, se conectaron haces flexibles impresos en 3D con acelerómetros de bajo costo a los motores de CC en un laboratorio de respuesta de frecuencia. Algunos grupos de laboratorio pudieron producir diagramas de Bode para este laboratorio, pero esta actividad debe perfeccionarse antes de la próxima oferta del curso.

Uso del módulo Python-Control para verificar el análisis de Laplace inverso

Parecía que los estudiantes de la sección PDM tenían dificultades con la teoría inicial de Laplace al principio del curso. Para combatir esto, el instructor creó un tutorial y un video en línea sobre cómo usar el

Tabla 1: Costo y origen de los componentes del sistema de motor/codificador de CC

Fuente del artículo	Motor de CC con codificador	Costo
pololu.com \$37	Soporte de montaje del motor pololu.com \$4	Puente
H amazon.com \$7	amazon.com \$11	Fuente de alimentación (2A
5V) amazon.com \$11	Placa de prueba Uno Knock-Off y cables de	
	puente amazon.com \$5	

Método `impulse_response` del módulo de control de Python para verificar numéricamente la solución a cualquier problema inverso de Laplace. Para ayudar a los estudiantes a prepararse para el examen parcial, se pidió a cada estudiante que inventara su propio problema inverso de Laplace o de ecuación diferencial y luego publicara la solución junto con la verificación numérica. Lo más probable es que su solución se elabore a mano. Este enfoque condujo a la creación de 20 problemas de práctica justo antes de la mitad del semestre y parece ayudar a los estudiantes a sentirse finalmente cómodos con el análisis de Laplace, especialmente la expansión de fracciones parciales y el Laplace inverso.

Generadores de problemas aleatorios de Bode y Root Locus

Una innovación final implicó el uso de Python para ayudar a los estudiantes a prepararse para el examen final. El instructor creó código Python para generar de forma inteligente el lugar de las raíces aleatorio y problemas de práctica de Bode. Los generadores de problemas aleatorios eran inteligentes en el sentido de que el código intenta generar funciones de transferencia "buenas" para los problemas en lugar de simplemente generar una función de transferencia puramente aleatoria.

Ambos generadores de funciones de transferencia aleatoria producen funciones de transferencia estrictamente adecuadas. El generador del lugar de las raíces produce funciones de transferencia con como máximo un par de polos conjugados complejos y hasta cinco polos en total. Como máximo se permite un poste inestable. Sólo se permiten ceros reales. Estas limitaciones se pueden ajustar para adaptarlas a las preferencias del instructor.

Para ayudar a los estudiantes que aprenden los diagramas de Bode por primera vez, resulta útil que los polos y los ceros estén bastante bien espaciados. Para ello, el generador Bode separa el rango de frecuencia en décadas, y ninguna década puede tener polos y ceros al mismo tiempo. Cada década puede tener un polo real o cero o un par complejo conjugado de polos o ceros. También es posible que durante una década no haya polos ni ceros.

El generador aleatorio de problemas de Bode se puede utilizar de dos maneras:

1. El estudiante puede permitir que el código le muestre la función de transferencia y luego dibujaría el diagrama de Bode correspondiente.
2. El estudiante puede hacer que el código genere el diagrama de Bode sin mostrarle el función de transferencia y pueden estimar la función de transferencia basándose en el diagrama de Bode (es decir, identificación del sistema).

Enfoque de evaluación y resultados

El punto de referencia y la evaluación presentados en este documento se realizaron comparando los resultados de aprendizaje de los estudiantes entre las dos versiones del curso (PDM y ME) a través de preguntas comunes del examen final, una tarea de laboratorio del lugar de raíces común, encuestas relacionadas con la demostración introductoria y una encuesta. Comparación de las actitudes de los estudiantes hacia la programación.

Se supone que la sección de ingeniería mecánica (ME) que tiene la dinámica como requisito previo es un ejemplo de un curso típico de control y sistemas dinámicos. Si los estudiantes que no toman dinámica pueden lograr la misma profundidad de comprensión de la dinámica de sistemas que los estudiantes de ME, entonces este trabajo se considerará exitoso.

Evaluación de demostración del primer día

La eficacia de la conferencia/demostración del primer día se evaluó de dos maneras. Primero, a los estudiantes se les realizó una encuesta en vivo al comienzo y al final de la primera conferencia preguntándoles qué tan entusiasmados estaban con el curso. Esto se hizo usando directpoll.com y los estudiantes respondieron en sus teléfonos, tabletas o computadoras portátiles. Los resultados se muestran en la Figura 4. Además, a los estudiantes se les realizó una encuesta en línea antes y después de la conferencia/demostración del primer día en la que se les pedía que definieran los términos "sistemas dinámicos" y "control". La aparición de varias palabras clave en las respuestas de los estudiantes a las preguntas se resume en las Figuras 5 y 6. Las definiciones de los estudiantes son vagas antes de la conferencia/demostración del primer día y se vuelven más específicas después. En la discusión posterior a la demostración, se señaló que para los sistemas mecánicos, la segunda ley de Newton es clave y que tanto la aceleración como la masa deben ser distintas de cero para que un sistema se considere dinámico. Cabe señalar que 21 estudiantes completaron la encuesta en el curso PDM.

La encuesta en línea también se entregó a los estudiantes de ME después de dos semanas de conferencia. Los estudiantes de la sección ME no vieron la demostración y el instructor de esa sección no dio una conferencia explícita sobre las definiciones de sistemas dinámicos y control. Parece que los estudiantes que vieron la demostración tienen una idea más concreta de lo que es un sistema dinámico que aquellos que no la vieron.

Preguntas comunes del examen

Cuatro de las preguntas del examen final fueron comunes. Cada instructor también agregó algunas preguntas adicionales que eran específicas de su versión. Había 20 estudiantes matriculados en la versión PDM del curso. Se seleccionó para evaluación una sección que contenía 26 estudiantes de la versión ME. Cabe señalar que las preguntas 2 y 3 esencialmente piden a los estudiantes que trabajen hacia atrás en comparación con los problemas asignados en las tareas o realizados como ejemplos en clase. Ninguno de los instructores había pedido a los estudiantes que resolvieran problemas como las preguntas 2 y 3 antes del examen final.
examen.

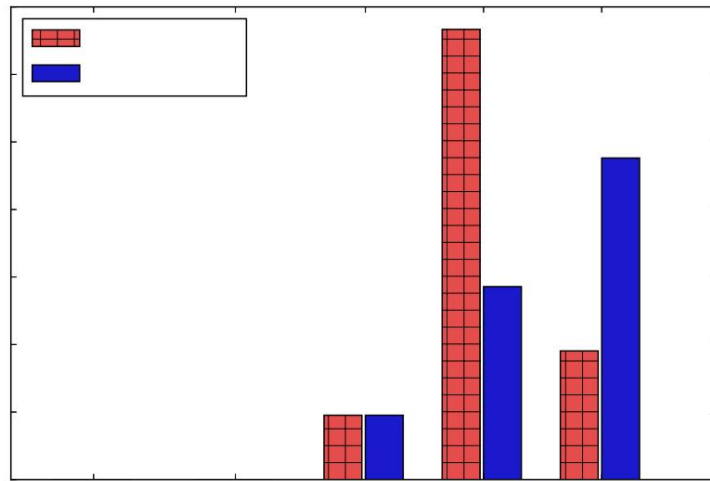


Figura 4: Gráfico de barras de las respuestas de los estudiantes sobre su interés en el curso antes y después de la demostración/conferencia del primer día

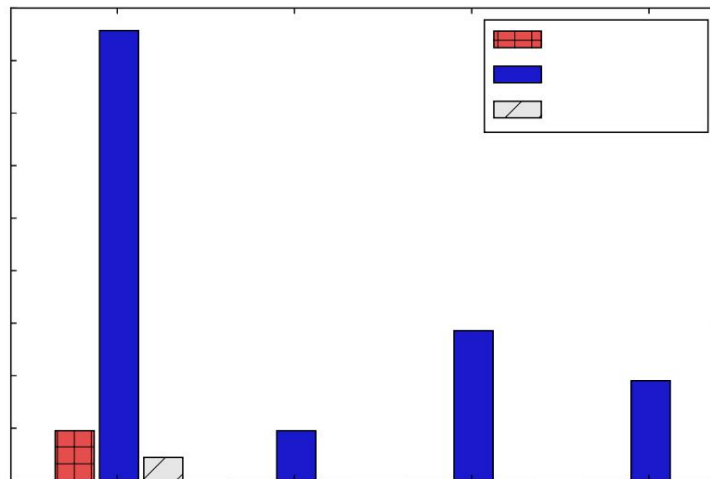


Figura 5: Gráfico de barras de la aparición de palabras clave en las respuestas de los estudiantes a la pregunta "¿Qué es un sistema dinámico?".

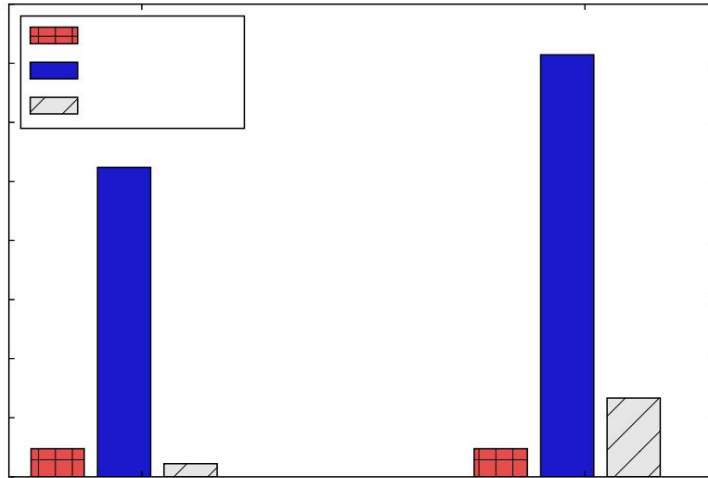


Figura 6: Gráfico de barras de la aparición de palabras clave en las respuestas de los estudiantes a la pregunta "En esta clase, ¿qué queremos decir con la palabra 'control'?".

Pregunta 1

La pregunta 1 evalúa la comprensión de los estudiantes sobre la relación entre las ubicaciones de los polos y las respuestas escalonadas para sistemas de segundo orden. Dos de los sistemas están subamortiguados y dos sobreamortiguados. Se pide a los estudiantes que relacionen las respuestas a los pasos que se muestran en la Figura 7 con las ubicaciones de los postes que se muestran en la Figura 8. También se les pide a los estudiantes que proporcionen el razonamiento detrás de sus elecciones.

Pregunta 1 Planteamiento del problema

- Relacione los sistemas 1 a 4 con su anuncio de respuestas a pasos y proporcione el razonamiento de su opciones.
- Tenga en cuenta que las Figuras 7 y 8 se imprimieron directamente debajo del enunciado del problema en la examen.

Pregunta 1 Evaluación La Figura 9 muestra el porcentaje de estudiantes de ME y PDM que relacionan correctamente los sistemas con sus respuestas a los pasos. En la evaluación se agruparon los sistemas insuficientemente amortiguados y excesivamente amortiguados. Los estudiantes de ambos grupos manejaron muy bien los sistemas poco amortiguados. Los sistemas sobreamortiguados resultaron ser más desafiantes, particularmente para los estudiantes de PDM. Por lo tanto, comprender los sistemas sobreamortiguados es un área de mejora en la próxima oferta de la versión PDM del curso.

El razonamiento dado para la elección de los estudiantes por los sistemas sobreamortiguados también mostró diferencias entre las dos versiones del curso. El 31 por ciento de los estudiantes de ME mencionaron que el sistema 3 tiene el polo más lento, mientras que ninguno de los estudiantes de PDM mencionó esto. Los estudiantes de PDM que emparejaron correctamente los sistemas sobreamortiguados mencionaron que el sistema 3 tiene mayor

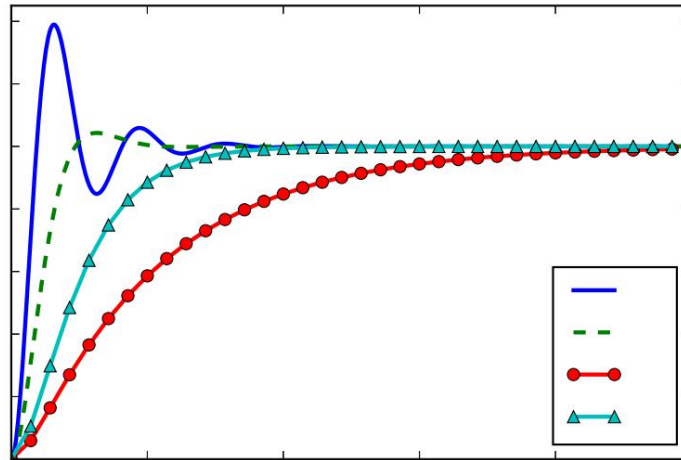


Figura 7: Respuestas a los pasos de los sistemas para el problema 1 que deben coincidir con las ubicaciones de los postes que se muestran en la Figura 8

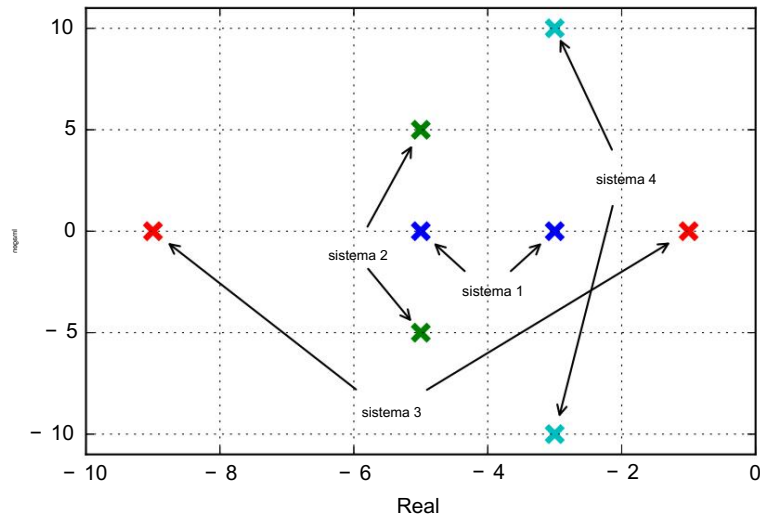


Figura 8: Las ubicaciones de los postes para los sistemas del problema 1 deben coincidir con las ubicaciones de los postes que se muestran en la Figura 7

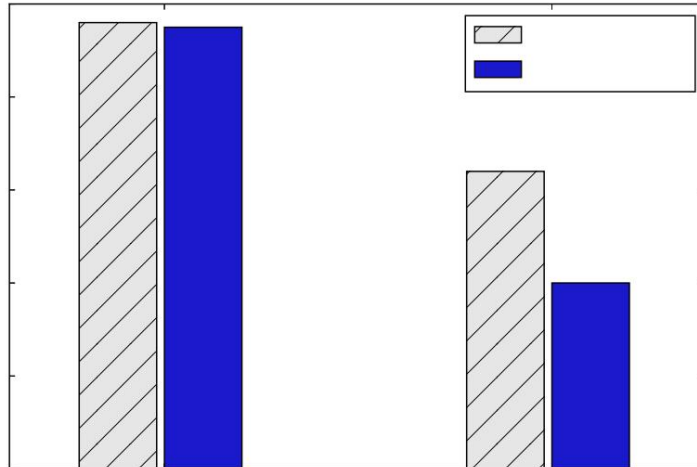


Figura 9: Gráfico de barras de la pregunta 1 del examen final

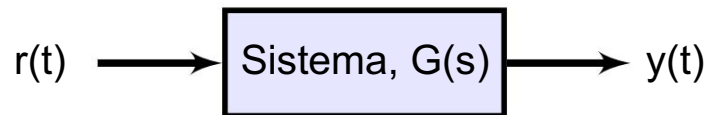


Figura 10: Cuadro negro de entrada/salida para la pregunta 2

amortiguación que el sistema 1. Si bien esto es cierto en cierto sentido, refleja menos comprensión que hablar sobre qué polo de primer orden es el más lento.

Pregunta 2

La pregunta 2 es un poco filosófica y prueba la comprensión de los estudiantes sobre la definición de función de transferencia. A los estudiantes se les dan expresiones en el dominio del tiempo de la entrada y salida de un sistema y se les pide que encuentren la función de transferencia. Si los estudiantes recuerdan que una función de transferencia es la transformada de Laplace de la salida dividida por la transformada de Laplace de la entrada, este problema debería ser bastante sencillo. Idealmente, los estudiantes también recordarán las preferencias de los instructores de que una función de transferencia se dé como una fracción propia con un polinomio de s en el numerador y un polinomio en el denominador.

Pregunta 2 Planteamiento del problema

- Se le entrega una caja negra y se le pide que averigüe su función de transferencia (ver

Figura 10). Si se suministra al sistema una entrada escalonada, $r(t) = 1$ para $t > 0$, la señal de salida es $y(t) = t - (1/3)\sin(3t)$.

- Las condiciones iniciales son cero. Determine la función de transferencia.

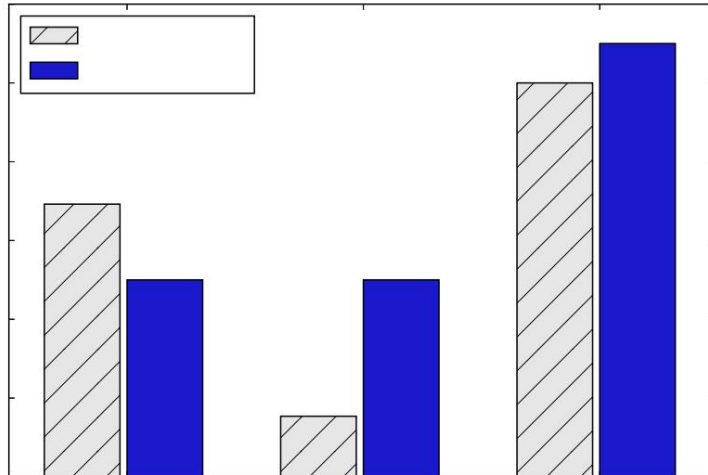


Figura 11: Gráfico de barras de la pregunta 2 del examen final

Pregunta 2 Evaluación El porcentaje de cada sección que encuentra correctamente la función de transferencia y la transformada de Laplace de entrada y salida se muestra en la Figura 11.

Curiosamente, 8 de 20 estudiantes de PDM intentaron inferir la función de transferencia a partir de alguna forma de expansión de fracción parcial inversa. Este enfoque podría interpretarse como una resolución creativa de problemas o simplemente como un intento de utilizar el enfoque principal de Laplace (expansión de fracciones parciales) en un problema en el que realmente no encaja. Ningún estudiante de ME intentó este enfoque.

Este parece ser un problema conceptual bastante desafiante si a los estudiantes nunca se les ha hecho una pregunta como esta.

Pregunta 3

La pregunta 3 pide a los estudiantes que interpreten el lugar de las raíces. En las tareas y actividades de laboratorio, se pidió a los estudiantes que dibujaran los lugares de las raíces o los generaran usando una computadora. Antes del examen final, a los estudiantes no se les había pedido que encontraran la función de transferencia de un lugar de raíces ni se les había hecho directamente el tipo de preguntas de interpretación que se encontraban en el examen final.

Pregunta 3 Planteamiento del problema

- Dado el lugar de las raíces que se muestra en la Figura 12:
 - a. Encuentre la función de transferencia de bucle asociada G^* .
 - b. Identifique las porciones del lugar de las raíces donde el sistema tiene raíces oscilatorias.
 - c. ¿Será este sistema estable para todas las opciones de ganancia K ? De lo contrario, identifique las partes del lugar de las raíces donde el sistema se vuelve inestable.

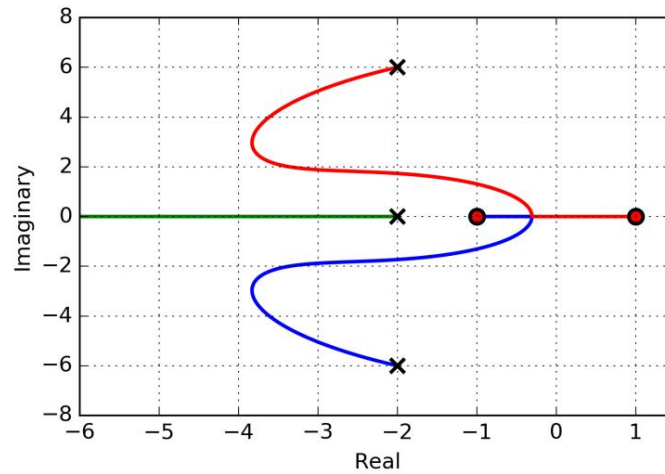


Figura 12: Lugar de las raíces para la pregunta 3 del examen final

- d. ¿Es posible que este sistema tenga una respuesta estable y no oscilatoria? De ser así, identifique dónde estarían los polos dominantes para tal respuesta.

Evaluación de la pregunta 3 El porcentaje de cada sección que dio respuestas correctas para las partes y se muestra en la Figura 13.

Tanto los estudiantes de ME como los de PDM trabajaron en una actividad de laboratorio común del lugar de las raíces. Vale la pena señalar que los estudiantes de PDM recibieron varias clases magistrales y tuvieron una tarea además del laboratorio.

Los estudiantes de ME recibieron instrucción a través de una conferencia previa al laboratorio y varios videos de YouTube, pero el lugar de la raíz no se cubrió explícitamente durante la parte de la conferencia de ME del curso. Por lo tanto, es un poco decepcionante que los estudiantes de PDM no hayan superado a los estudiantes de ME en esta parte del examen final.

Hasta ahora, no se ha hecho ningún esfuerzo para determinar si la población ME es en realidad teóricamente más fuerte que la población PDM. Esto podría hacerse comparando los GPA acumulativos o las calificaciones promedio de cálculo y física. Ciertamente es posible que los estudiantes que completan con éxito la dinámica tengan habilidades analíticas más fuertes que los estudiantes que no lo hacen. Los profesores del programa PDM esperan que los estudiantes elijan la especialización en PDM basándose en su interés en el diseño y la fabricación de productos, pero ciertamente es posible que algunos elijan el programa para evitar la dinámica y otros cursos más teóricos y analíticos.

Pregunta 4

La cuarta y última pregunta común del examen es una pregunta de modelado de dos grados de libertad con un pequeño inconveniente: la entrada es un desplazamiento en lugar de una fuerza. Si los estudiantes dibujan los diagramas de cuerpo libre necesarios y se preguntan cuidadosamente cuáles son los desplazamientos diferenciales para cada resorte y cuáles son las velocidades diferenciales para cada amortiguador, debería ser bastante sencillo encontrar la función de transferencia que pide la pregunta.

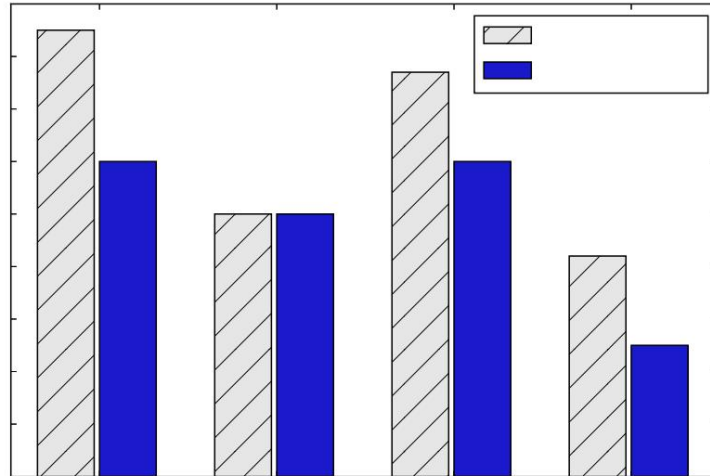


Figura 13: Gráfico de barras de la pregunta 3 del examen final

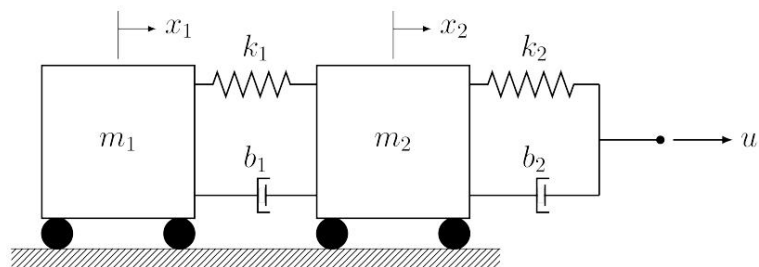


Figura 14: Esquema del problema de modelado de masa/resorte/amortiguador (Pregunta 4)

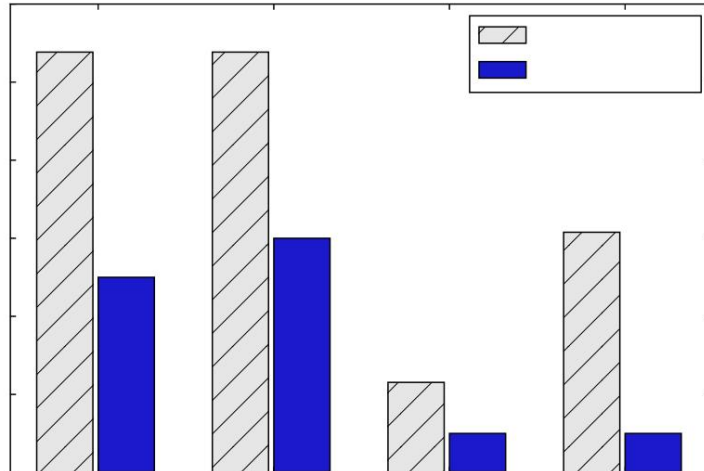


Figura 15: Gráfico de barras de la pregunta 4 del examen final

Pregunta 4 Planteamiento del problema

- Encuentre la función de transferencia para el sistema que se muestra arriba (Figura 14) con entrada de desplazamiento u y salida x_2 .

Pregunta 4 Evaluación Los estudiantes de ME manejaron la arruga de desplazamiento mejor que los estudiantes de PDM, pero aún así hizo tropezar a un porcentaje decente de estudiantes. En la Figura 15 se muestra el porcentaje de cada sección que dibujó diagramas de cuerpo libre correctos, escribió ecuaciones de movimiento correctas y obtuvo la función de transferencia correcta.

Claramente, el modelado es más desafiante para los estudiantes de PDM que para los estudiantes de ME; esto tiene sentido dado que los ETA y las MOE son temas centrales en la dinámica.

El cuestionario de requisitos previos que se realizó el primer día tiene un problema muy sencillo de masa/resorte/amortiguador de un solo grado de libertad. Sólo un estudiante en la sección PDM dibujó un FBD correcto y ninguno de los estudiantes acertó en el MOE. Entonces, aunque el desempeño en la pregunta de modelado en el examen final es bastante malo, sigue siendo una mejora con respecto a la prueba previa.

Asignación de laboratorio común

También se utilizó una tarea de laboratorio final común para comparar los resultados del aprendizaje entre las secciones ME y PDM del curso. El laboratorio pidió a los estudiantes que utilizaran un enfoque del lugar de las raíces para diseñar controladores P y PD para el sistema de motor/codificador/puente H de CC analizado anteriormente en este documento. Se pidió a los estudiantes que eligieran ganancias de control que condujeran a respuestas ligeramente amortiguadas, muy amortiguadas y sobreamortiguadas. También se les pidió que simularan la respuesta escalonada de sus sistemas de circuito cerrado y compararan las simulaciones con los resultados experimentales. También se les pidió que discutieran si las respuestas a los pasos experimentales tenían sentido dadas las ubicaciones de los polos correspondientes en el lugar de las raíces.

La tarea evalúa la comprensión de los estudiantes sobre el diseño del lugar de las raíces, las relaciones entre las ubicaciones de los polos y las respuestas a los pasos, y cómo realizar simulaciones de circuito cerrado. Todos estos son conceptos centrales en sistemas dinámicos y control. Este enfoque podría ser valioso para cualquier programa interesado en evaluar la comprensión de sus estudiantes sobre los sistemas dinámicos y el control.

Si bien este enfoque parece prometedor como herramienta de evaluación de control y sistemas dinámicos estandarizados, el primer intento en la Universidad Estatal de Grand Valley no tuvo éxito. Las secciones del laboratorio ME no utilizaron inicialmente exactamente el mismo hardware que la sección PDM. Además, la tarea llegó al final del curso y los estudiantes parecían apresurados y posiblemente agotados. Muchos de los grupos entregaron informes de laboratorio de menor calidad que el trabajo que habían realizado a principios de semestre. Al final, no fue posible realizar una comparación significativa entre las secciones ME y PDM. Es probable que se vuelva a intentar esta evaluación cuando los cursos se ofrezcan nuevamente el próximo otoño.

Encuesta de actitudes de programación

Se hizo una comparación adicional entre las secciones ME y PDM del curso de control y sistemas dinámicos: una encuesta en línea preguntó a los estudiantes cómo había cambiado su actitud hacia la programación y su percepción de su capacidad de programación desde el principio hasta el final del curso.

La programación informática juega un papel valioso en los cursos de control y sistemas dinámicos. Se pueden utilizar herramientas como Matlab o Python para generar lugares geométricos de raíces y diagramas de Bode, simular las respuestas de sistemas y analizar datos experimentales. Las secciones ME del curso usaron Matlab mientras que la sección PDM usó Python junto con el módulo de control de Python y el cuaderno Jupyter. El cuaderno Jupyter proporciona una interfaz web que permite a los estudiantes escribir código en celdas y luego ver los resultados inmediatamente en una celda de salida. El cuaderno fusiona el editor tradicional y la línea de comandos en una interfaz entrelazada, proporcionando a los estudiantes comentarios inmediatos sobre cada fragmento de código que ingresan. Además, los gráficos se pueden mostrar inmediatamente después de las celdas que los generan, facilitando la asociación de la figura con el código correspondiente.

Además de Matlab o Python, tanto los estudiantes de PDM como de ME utilizaron C para programar sus Arduinos para actividades de laboratorio.

Las Figuras 16 y 17 comparan las respuestas entre las secciones ME y PDM del curso a las dos preguntas más pertinentes de la encuesta. Tenga en cuenta que el número de respuestas es demasiado pequeño para afirmar que tiene significancia estadística: 20 de 85 ME respondieron a la encuesta y 13 de 20 estudiantes de PDM respondieron.

La Figura 16 compara las respuestas a la pregunta "¿Cómo ha cambiado su actitud hacia la programación desde el comienzo de este curso?" Un porcentaje mayor de estudiantes de PDM que de ME disfrutaban más de la programación al final del curso que al principio.

La Figura 17 compara las respuestas a la pregunta "¿Han mejorado sus habilidades de programación desde el comienzo de este curso?" Un porcentaje mayor de estudiantes de PDM que de ME sienten que ahora son mejores en programación. La autoeficacia relacionada con la programación tiene cierto valor, pero

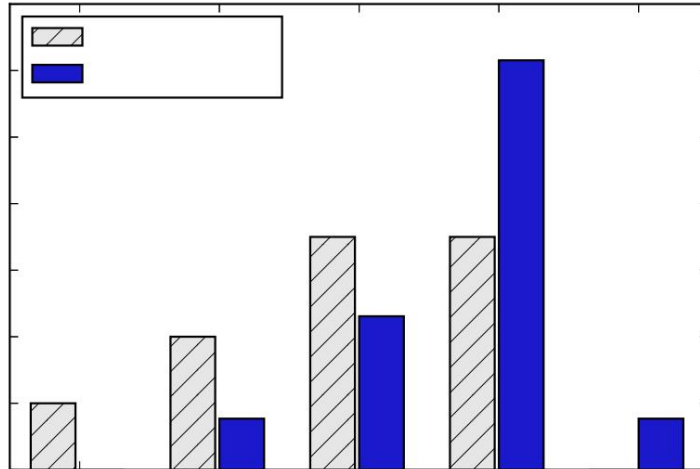


Figura 16: Comparación de las respuestas de los estudiantes a la pregunta de la encuesta sobre actitudes en programación: ¿Cómo ha cambiado su actitud hacia la programación desde el comienzo de este curso? Opciones de escala Likert: 1: Ahora me desagrada mucho más programar. 2: Ahora me desagrada un poco más la programación. 3: Mis sentimientos no han cambiado. 4: Ahora disfruto un poco más programando. 5: Ahora disfruto mucho más programando.

Sería beneficioso complementar esto en el futuro con alguna evaluación objetiva de las habilidades de programación de los estudiantes relacionadas con sistemas dinámicos y control.

Conclusiones y trabajo futuro

Los estudiantes de la versión ME del curso de control y sistemas dinámicos superaron a sus homólogos de la versión PDM en casi todos los aspectos de las preguntas comunes del examen final. Los datos de la evaluación proporcionan un punto de referencia valioso y muestran a los docentes en las áreas de mejora del programa PDM.

También se presentaron varios primeros intentos de innovación pedagógica relacionados con la enseñanza de sistemas dinámicos y control, incluida una demostración introductoria efectiva y un sistema experiencial de bajo costo que se puede utilizar para 6 o más tareas de laboratorio. Además, se presentó un procedimiento de laboratorio que podría usarse para una evaluación generalizada de sistemas dinámicos y aprendizaje de control.

Los resultados de la encuesta muestran que el uso de Python, el módulo de control de Python y el cuaderno Jupyter fueron bien recibidos por los estudiantes de PDM.

Dados los diferentes énfasis de los distintos programas de ingeniería y la composición de diferentes poblaciones estudiantiles, puede no ser un objetivo apropiado que los estudiantes de manufactura comprendan la dinámica de los sistemas de segundo orden con la misma profundidad que los estudiantes de ME. Sin embargo, saber cómo se comparan los estudiantes de manufactura con los ME en esta área aún puede proporcionar datos valiosos para guiar los programas de manufactura en sus elecciones curriculares.

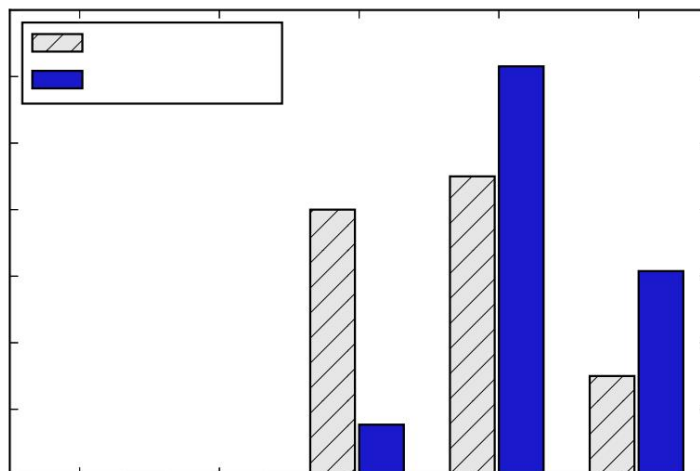


Figura 17: Comparación de las respuestas de los estudiantes a la pregunta de la encuesta sobre actitudes en programación: ¿Han mejorado sus habilidades de programación desde el comienzo de este curso? Opciones de escala de Likert: 1: Soy mucho peor programando que al principio del curso.; 2: Soy algo peor programando que al principio del curso.; 3: Mis habilidades de programación no han mejorado en absoluto a lo largo de este curso.; 4: Soy algo mejor programando ahora que al principio del curso.; 5: Ahora soy mucho mejor programando que al principio del año. curso.

El trabajo futuro incluirá una prueba del primer día elaborada con más cuidado para que se pueda realizar una mejor evaluación previa y posterior entre la prueba y el examen final. Además, el laboratorio del lugar de la raíz se ejecutará nuevamente y todos los grupos utilizarán hardware idéntico. Se investigará por qué algunos estudiantes no pudieron generar diagramas de Bode para la respuesta de frecuencia del haz impreso en 3D, de modo que se pueda rediseñar la actividad de laboratorio. Finalmente, se contratará personal docente de otras instituciones para que se puedan crear pequeños pasos iniciales hacia algo como el Inventario de Conceptos Dinámicos para sistemas y control dinámicos2.

Referencias

- [1] Bedillion, MD, Raisanen, R. y Nizar, M., "Improving Transitions Between Sophomore Dynamics and Junior Dynamic Systems Courses", Actas de la Conferencia Anual de ASEE, 2014.
- [2] Gray, GL, Costanzo, F., Evans, D., Cornwell, P., Self, B. y Lane, JL, "La prueba de evaluación del inventario del concepto dinámico: un informe de progreso y algunos resultados", American Society Conferencia y exposición anual de educación en ingeniería, 2005.
- [3] Bernstein, D., "Mejora de la educación universitaria en control", Revista Control Systems, IEEE, vol. 19, núm. 5, octubre de 1999, págs. 40 –43.

- [4] Bernstein, D., "Experimentos de control y lo que aprendí de ellos: un viaje personal", Revista de sistemas de control, IEEE, vol. 18, núm. 2, abril de 1998, págs. 81–88.
- [5] Shiakolas, P. y Piyabongkarn, D., "Desarrollo de un sistema de control digital en tiempo real con un dispositivo de levitación magnética de hardware en el bucle para el refuerzo de los controles educativos", IEEE Transactions on Education, vol. 46, núm. 1, 2003, págs. 79–87.
- [6] Kamis, Z., Topcu, E. y Yuksel, I., "Educación sobre control automático asistida por computadora con un sistema de desarrollo en tiempo real", Aplicaciones informáticas en la educación en ingeniería, vol. 13, núm. 3, 2005, págs. 181-191.
- [7] Salzmann, C., Gillet, D. y Huguenin, P., "Introducción al control en tiempo real utilizando LabVIEW con una aplicación a la educación a distancia", Int. J. de Educación en Ingeniería, vol. 16, núm. 5, 2000, págs. 372–384.
- [8] Reck, RM y Sreenivas, RS, "Desarrollo de un kit de laboratorio asequible para Under Graduate Controls Education", Conferencia de controles y sistemas dinámicos de ASME, 2014. Actas de 2014, ASME, octubre de 2014.
- [9] Reck, RM y Sreenivas, RS, "Desarrollo de un nuevo kit de laboratorio de motores de CC asequible para un curso de control de pregrado existente", Conferencia Estadounidense de Control (ACC), 2015, IEEE, 2015, págs.
- [10] Reck, RM, "BYOE: kit de laboratorio portátil y asequible para cursos de control", 122. Conferencia y exposición anual de ASEE, 2015, ID del artículo: 13467.
- [11] Schinstock, D., McGahee, K. y Smith, S., "Involucrar a los estudiantes en sistemas de control utilizando un robot de equilibrio en un curso de mecatrónica", Conferencia Estadounidense de Control (ACC) de 2016, IEEE, 2016, págs. 6658 –6663.
- [12] Bay, CJ y Rasmussen, BP, "Explorando la educación sobre controles: un kit de plataforma de placa y bola reconfigurable", Conferencia Americana de Control (ACC) de 2016, IEEE, 2016, págs.
- [13] Lee, K.-M., Daley, W. y McKlin, T., "Una herramienta de aprendizaje interactivo para sistemas y control dinámicos", Congreso y exposición internacional de ingeniería mecánica, Anaheim, CA, 1998.
- [14] Okamura, AM, Richard, C., Cutkosky, M., et al., "Sentir para creer: usar un joystick de retroalimentación de fuerza para enseñar sistemas dinámicos", Journal of Engineering Education, vol. 91, núm. 3, 2002, págs. 345–349.
- [15] de la Croix, J.-P. y Egerstedt, M., "Invertir los controles del aula en torno a un MOOC". Conferencia Americana de Control (ACC), 2014, IEEE, 2014, págs. 2557–2562.
- [16] Hill, R., "Actividades basadas en hardware para invertir la dinámica y el control del sistema plan de estudios", Conferencia Estadounidense de Control (ACC), 2015, IEEE, 2015, págs.